

# 3

## Das Kupplungssystem der Zukunft

Mehr als Trennen und Verbinden

Jürgen Freitag  
Friedrich Gerhardt  
Markus Hausner  
Christoph Wittmann

## Einleitung

Hybridmodelle, Elektroautos und Fortbewegung mit Hilfe von Wasserstoff sind nur einige der Antriebskonzepte, auf die die Automobilindustrie für den Individualverkehr der Zukunft setzt. Trotzdem wird der klassische Verbrennungsmotor nach Ansicht vieler Automobilexperten [1 bis 5] auch in den nächsten 10 bis 20 Jahren die Hauptantriebsquelle für PKW, Nutzfahrzeuge und Agrarmaschinen bleiben. Durch neue Brennverfahren und weitere Optimierungen werden die Motoren aber sparsamer und sauberer. So bleibt auch der Bedarf an Schaltgetrieben und den zugehörigen Kupplungen und Torsionsdämpfern im Antriebsstrang bis auf Weiteres bestehen. Gegenüber heutigen Anwendungen nehmen die Anforderungen an die Komponenten stark zu, da die neuen Motorentechnologien ein höheres Isolationspotenzial für den nachgeschalteten Antriebsstrang erfordern.

Die Produktpalette der LuK-Kupplungen deckt mittlerweile von Bauteilen für Kleinwagen über Baugruppen für Traktoren bis zu Modulen für NKW den gesamten Bereich der Automobil- und Traktoranwendungen ab (Bild 1). Die dabei zu übertragenden Motordrehmomente liegen zwischen 60 und 3 500 Nm.

Zahlreiche anwendungsspezifische Optimierungen, wie z. B. Zwei-Scheiben-Kupplungen für drehmomentstarke Fahrzeuge, Doppelkupplungen, mehrstufige Dämpfer für Dieselanwendungen oder Dämpfer für CVT-Getriebe, machen deutlich, wie marktorientierte Komponenten zum Nutzen des Kunden das Produktportfolio in der Vergangenheit kontinuierlich erweitert haben.

Die Module leisten dabei heute deutlich mehr als noch vor einigen Jahren. Entwicklungen

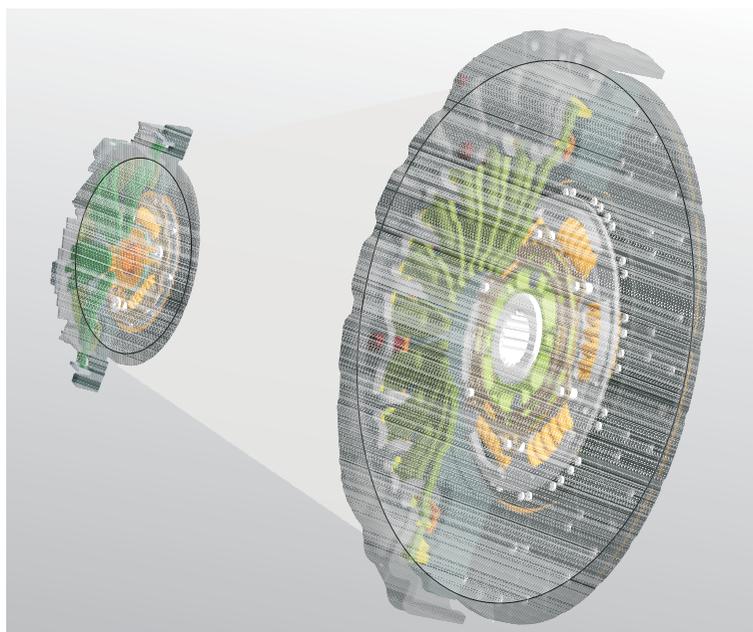


Bild 1 LuK-Kupplungen für 60 und 3 500 Nm Motormoment

zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes, wie Downsizing, die Reduzierung der Zylinderzahl oder die Erhöhung des Wirkungsgrades im Antriebsstrang, führen zu erhöhten Dreh- und Axialbeschleunigungen bei reduzierter Dämpfung. Gleichzeitig hat der Einsatz der Komponenten in immer komplexeren Systemen wie Doppelkupplungen oder Hybridanwendungen zur Folge, dass die Anforderungen an die Kupplung hinsichtlich Komfort, Lebensdauer und reduziertem Bauraum sowohl im PKW- als auch im NKW-Sektor beständig zunehmen. Spezielle NVH-Themenstellungen stellen darüber hinaus höhere Anforderungen bei der Entwicklung moderner, leistungsstarker Systeme.

## Komfort

### LuK SAC Immer auf der Höhe der Zeit

Seit Jahren ist in der Motorenentwicklung ein Trend zu höheren Drehmomenten bei nahezu konstantem Hubraum zu verzeichnen [6]. Diese Entwicklung führte aufgrund des nahezu konstant bleibenden Bauraums zu einer deutlichen Steigerung der Leistungsdichte des Kupplungssystems.

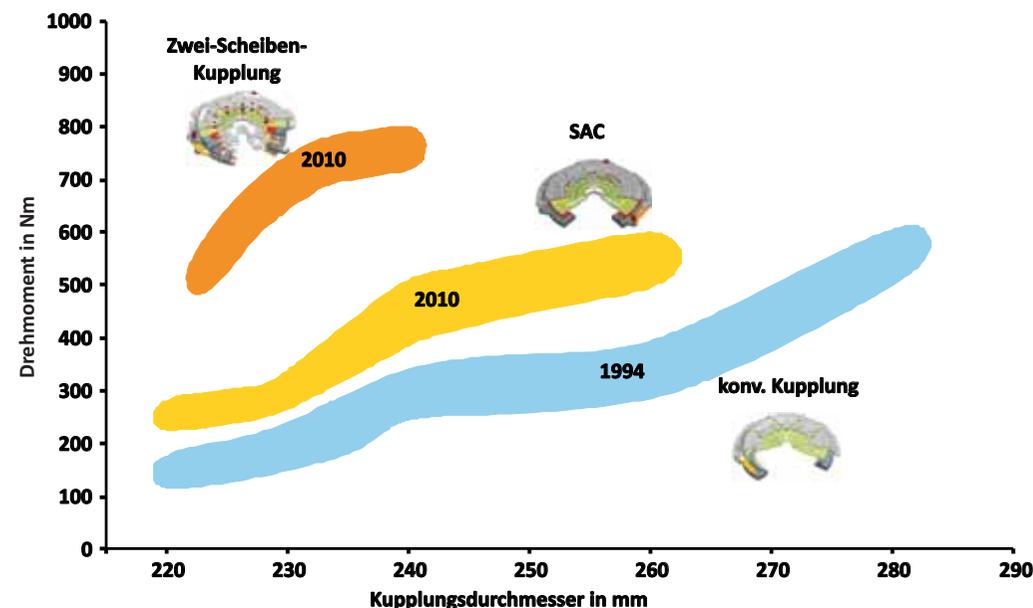


Bild 2 Entwicklung Drehmoment von 1994 und 2010 und dazu passende Kupplungstechnologien

So hat sich die Drehmomentkapazität in den vergangenen 16 Jahren bei gleichbleibendem Kupplungsdurchmesser um ca. 50 % erhöht (Bild 2). Die Belastungen auf den Triebstrang und damit auch auf das Kupplungssystem haben deutlich zugenommen. Dieser Trend führt zwangsläufig zu höheren Ausrückkräften bei der Kupplungsbetätigung.

Eine erste Antwort auf diese Entwicklung war die LuK SAC (Self Adjusting Clutch) mit kraftgesteuerter Verschleißnachstellung. Im PKW-Segment stellen vor allem SUV-Anwendungen bzw. Off-Road-Modelle und kleinere Transporter hohe Anforderungen an die Verschleißfestigkeit. Der Einsatz der SAC hat sich bei diesen Fahrzeugen wegen der hohen Drehmomente und den hohen erreichten Laufleistungen in den vergangenen Jahren bewährt. Durch die moderaten Ausrückkräfte, trotz steigender Drehmomente, hat die SAC auch im PKW-Bereich eine hohe Verbreitung.

Die ersten Entwicklungsziele der SAC [6] waren:

- Erhöhung des Verschleißbereiches (längere Lebensdauer)
- Reduzierung der Betätigungskraft (Komfort)
- Downsizing
- Reduzierung des Lagerhubs (Bauraum-/Kostenreduzierung)

Erhöhte Drehmomentkapazität bei weiterhin moderaten Ausrückkräften, oder alternativ die Möglichkeit, die Differenz von Ausrückkraftmaximum zu -minimum (Drop-Off) zu reduzieren – dies sind die Eigenschaften der SAC2. Umgesetzt wurde dies durch die degressive Blattfeder als Verbindung der Anpressplatte mit dem Deckel [7] sowie den Sensorungen an der Haupttellerfeder. Die Sensorkraft der degressiven Blattfedern wird somit über die Anpressplatte eingeleitet. Bei hohen axialen Anregungen der Kurbelwelle – ein häufiges Phänomen neuerer Motoren – kann in Verbindung mit der Masse der Anpressplatte das System allerdings dynamisch angeregt werden.

Bei der Entwicklung der neuesten SAC-Generation wurden diese Anforderungen aufgenommen sowie die Funktionen von degressiver Blattfeder und Sensorung zur weiteren Optimierung der Überwegesicherheit durch funktional neue Bauteile ersetzt.

Die Sensorfeder wird nun bei jedem Abhub betätigt und leitet ihre Kraft direkt in die Haupttellerfeder ein. Somit übt die Anpressplattenmasse keinen Einfluss auf die Sensorfederkraft aus. Eine Stützfeder ersetzt die Sensorzunge, um den Gesamtwirkungsgrad durch drei zusätzliche Tellerfederungen zu erhöhen.

Während des Ausrückvorgangs erfolgt durch die Summe von Sensor-, Stütz- und Blattfederkraft ein

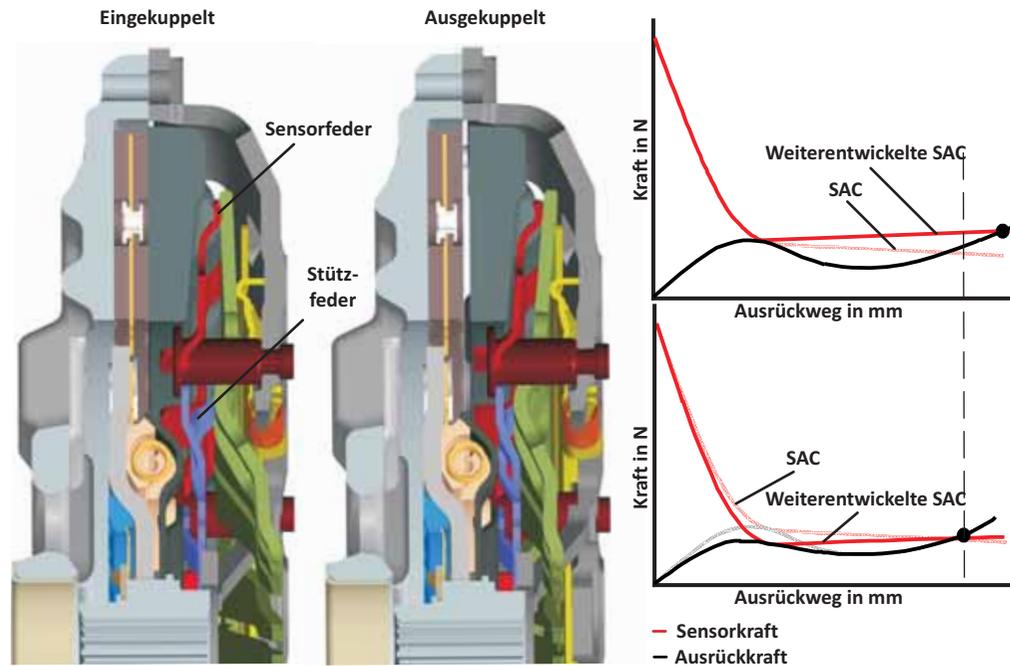


Bild 3 Weiterentwicklung der LuK SAC

Anstieg der Sensorkraft und somit eine Vergrößerung der Überwegsicherheit. Alternativ kann bei gleicher Überwegsicherheit das Ausrückkraftmaximum abgesenkt werden (Bild 3).

Eine konstante Sensorkraft im Verschleiß der Kupplungsscheibe wird durch die Abstimmung der drei Federelemente gewährleistet.

Mit diesen Maßnahmen ist die LuK SAC auch für kommende Anforderungen gerüstet.

Im Vergleich zur ersten Generation der SAC ist nun bei identischem Motormoment die Ausrückkraft um ca. 30 % reduziert worden. Ausrückkraftminimum und -maximum liegen nun erheblich enger beieinander.

## LuK TAC Neue Wege für Nutzfahrzeuge

In der Regel wird ein Kupplungssystem für eine Laufleistung von ca. 200 000 km für PKW- und zwischen 600 000 km (Verteilerverkehr) und >1 000 000 km (Fernverkehr) für NKW-Anwendungen ausgelegt. Die Lebensdauer ist neben den Gussmassen (Schwungrad und Anpressplatte) von der gewählten Belagabmessung und vom Verschleißbereich von Kupplungsscheibe und -druck-

platte abhängig. Vor allem in NKW ergeben sich aus einer Vielzahl von Anfahr- und Rangiervorgängen, zum Beispiel im Baustellenverkehr, erhöhte Anforderungen an die Verschleißfestigkeit, damit eine angemessene Lebensdauer erreicht werden kann.

Die in den NFZ häufig eingesetzten automatisierten Schaltgetriebe mit pneumatischer Betätigung erfordern außerdem eine stetig steigende Ausrückkraftkennlinie. Diese Eindeutigkeit in der Kraft-Weg-Kennlinie wird seitens der Kupplungssteuerung benötigt.

Für diese Anwendungen wurde die LuK TAC (Travel Adjusted Clutch) entwickelt (Bild 4).

Der Nachstellvorgang wird bei der TAC durch die Wegmessung des Abstands zwischen Anpressplatte und Schwungrad ausgelöst und die axiale Wegänderung dann durch ein Ritzel mit direkt gekoppelter Spindel auf den Verstellring übertragen. Die Wegkompensation erfolgt zwischen der Anpressplatte und Tellerfeder mit konstanter Zungenhöhe. Verzug bzw. Topfung haben keinen Einfluss auf die Nachstellqualität, da sich die Nachstelleinheit komplett auf der Anpressplatte befindet. Bei dieser Konstruktion steht ein Mindestverschleißbereich von 6 mm zur Verfügung.

Damit ist die Verschleißreserve nahezu doppelt so groß wie bei den sonst am Markt erhältlichen Systemen.

Durch die zwangsgesteuerte Nachstellung ergibt sich eine gleichbleibend gute Nachstellqualität über den gesamten Verschleißbereich. Je nach Anforderung können unterschiedliche Ausrückkraftkennlinien (Bild 5) dargestellt werden.

Grundsätzlich ist das TAC-Nachstellprinzip für NKW, PKW, gezogene und gedrückte Kupplungsdruckplatten einsetzbar. Die LuK TAC bildet eine Ergänzung zur erfolgreichen LuK SAC. LuK bietet seinen Kunden mit diesen Konzepten nahezu unbe-

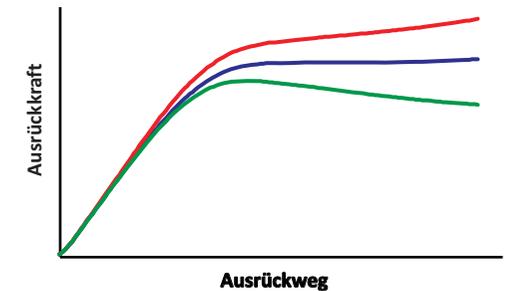


Bild 5 Mögliche Ausrückkraftverläufe der TAC

schränkte Möglichkeiten bei der Wahl der Ausrückkraftkennlinie und damit der Pedalkräfte.

Grundsätzlich lässt sich bei allen Ausführungen, auch konventionellen Kupplungen, durch den Einsatz einer Servofeder zwischen Deckel und Tellerfederzone das Ausrückkraftniveau weiter reduzieren. Diese Möglichkeit wurde in [8] aufgezeigt.

## Vision

Um die Betätigungskräfte signifikant abzusenken, müssen neue Wege beschritten werden. Eine Möglichkeit ist der Einsatz einer Boosterkupplung (Bild 6). Dieses Kupplungssystem besteht aus einer Vorsteuerkupplung und einer Hauptkupplung. Beide Elemente sind durch ein Rampensystem über Wälzkörper miteinander verbunden. Beim Schließen der Vorsteuerkupplung werden durch das aufgebaute Moment die Rampen verdreht und so die Hauptkupplung geschlossen. Die für die Betätigung der Hauptkupplung erforderliche Energie wird bei diesem

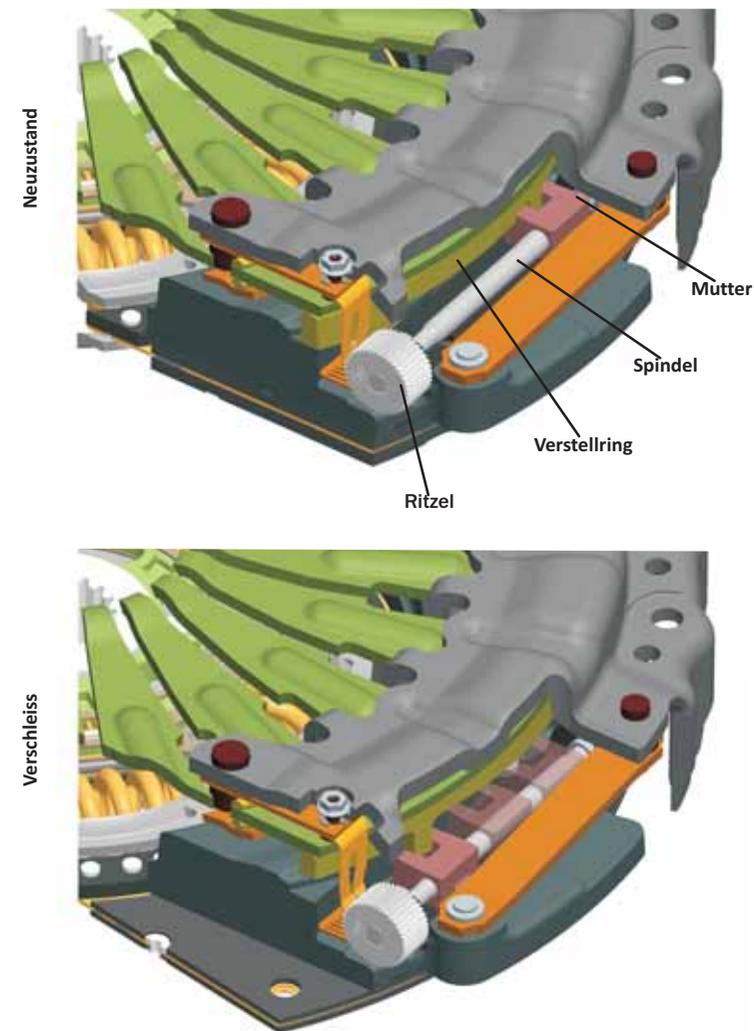


Bild 4 LuK TAC (gedrückte Kupplung) mit Mindestverschleißbereich von 6 mm

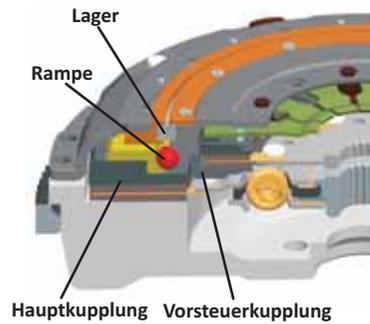
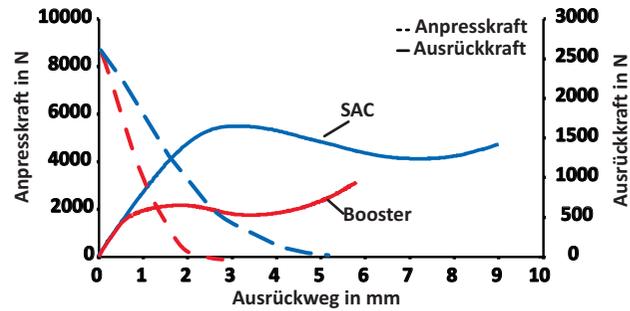


Bild 6 Booster-Kupplung

System vom Verbrennungsmotor geliefert und es muss von außen nur die Kraft zum Schließen der Vorsteuerkupplung aufgebracht werden. Der kritische Übergang Zug/Schub wird mit einer geeigneten Reibvorrichtung beherrscht. Erste Tests in Fahrzeugen zeigen gute Ergebnisse. Die Ausrückkräfte lassen sich damit um den Faktor 2 bis 3 gegenüber heutigen Auslegungen absenken und bieten so z. B. für eine Elektrifizierung der Kupplungsbetätigung großes Potenzial.



## Lebensdauer

### Reduzierung Verschleiß im Torsionsdämpfer

Speziell bei Dämpfern mit hohen Massen der Druckfedern, wie bei NKW- aber auch immer mehr

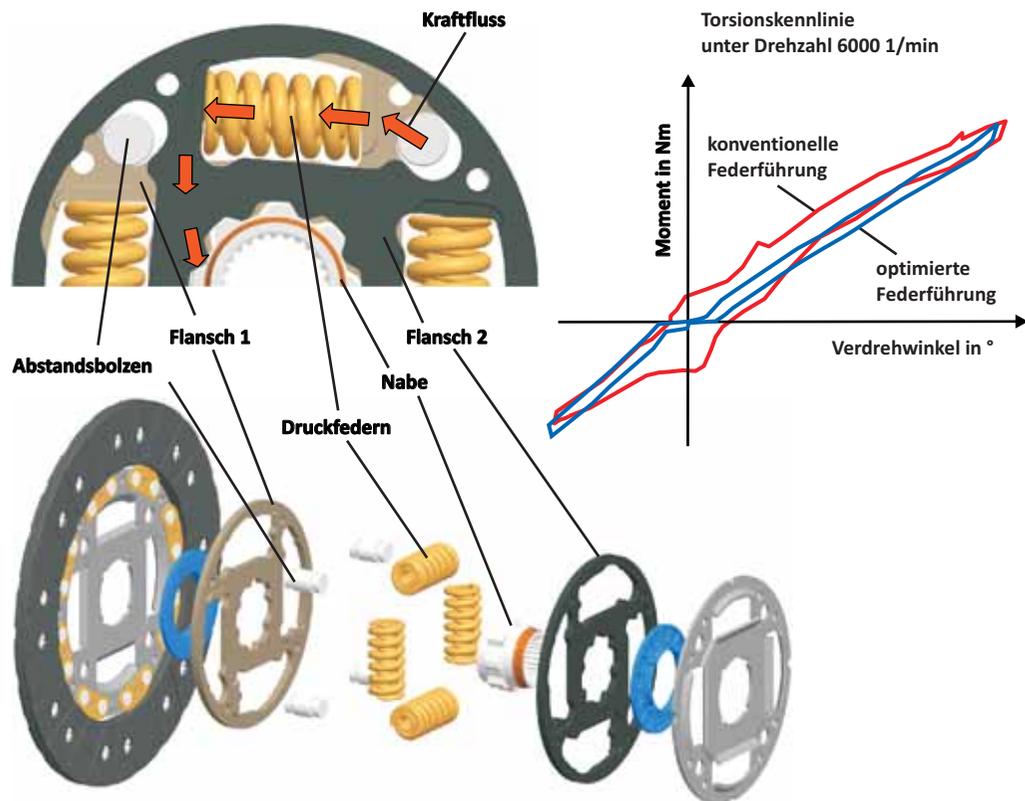


Bild 7 Dämpfer für Hybridanwendung mit optimierter Federführung

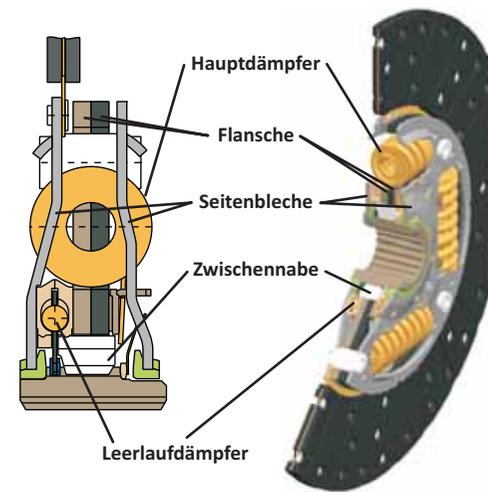


Bild 8 Dämpfer für NKW mit optimierter Federführung

Hybrid- und Automatanwendungen, sind häufig die Belastung und der Verschleiß der Federführung der limitierende Faktor. Mit dem von LuK entwickelten neuen Federführungssystem kann der Verschleiß an den Druckfedern und Führungen im Dämpfer deutlich reduziert werden.

Bei einer Standardfederführung wechselt die Anlage der Druckfedern beim Zug-/Schubübergang zwischen dem Flansch und den Federführungsblechen. Fertigungsbedingte Geometrieabweichungen in den Federfenstern von Flansch und Federführungsblechen sowie Versatz im Dämpfer verursachen bei jedem Wechsel der Druckfederabstützung geringfügige Radialverschiebungen der fliehkräftbelasteten Druckfedern, was zu Reibung und Verschleiß an Federn und Führung führt. Bei hohen Drehzahlen kann die Druckfeder durch die Reibung sogar am exakten Rückstellen gehindert werden.

Bei dem neuen Konzept (Bild 7) verfügt der Dämpfer über zwei Flansche, die in ständigem Kontakt mit den jeweiligen Druckfederenden bleiben. Der Übergang zwischen Zug- und Schubmoment erfolgt über den Anlagewechsel der Flansche zu den Abstandsbolzen bzw. zur Außenverzahnung der Nabe. Das Umfangspiel zwischen den Flanschen und der Nabe definiert auch den Gesamtverdrehwinkel des Dämpfers.

Durch den Entfall des Anlagewechsels in der Federführung entsteht dort und an den Druckfedern deutlich weniger Reibung und Verschleiß als bei der Standardausführung. Dadurch ergibt sich auch keine wesentliche Veränderung der Torsionskennlinie bei zunehmender Motordrehzahl. Der Ver-

gleich der dynamischen Torsionskennlinien eines Standarddämpfers und eines Dämpfers mit optimierter Federführung zeigt deutlich die geringere Reibung der optimierten Version (Bild 7).

Realisiert wird dieses System auch in einem Dämpfer für NKW (Bild 8). In Verbindung mit der optimierten Federführung wird zur Realisierung einer Leerlaufstufe eine zusätzliche Zwischennabe erforderlich, die über die Außenverzahnung den Verdrehwinkel des Hauptdämpfers und über die Innenverzahnung den des Leerlaufdämpfers definiert.

Die optimierte Federführung wird ergänzend zur Standardausführung eingesetzt, abhängig von Druckfedergewicht und Motordrehzahl.

## Entwicklung von Kupplung und Belag unter einem Dach

Zusammen mit Schaeffler Friction, ehemals Raybestos, verfügt LuK bezüglich Entwicklung und Fertigung von Belägen über hohe Systemkompetenz, die sich auch in einem optimierten Entwicklungsprozess für Reibbeläge (Bild 9) zeigt, der dadurch gekennzeichnet ist, dass

1. mit der Reibsystementwicklung in der Konzeptphase der Aggregateentwicklung die Belagqualität definiert wird;
2. die Anforderungen (Verschleiß, Reibwert, Reibwertgradient, etc.) der Applikation auf die Anforderungen der Reibpaarung übertragen werden;
3. bestehende Prüfprogramme entweder modifiziert oder neue Programme entwickelt werden, damit modifizierte Anforderungen berücksichtigt werden können (z. B. Dauerschlupf bei Doppelkupplungsanwendungen oder kurze Rutschzeiten bei hoher spezifischer Pressung in Hybridanwendungen);
4. Prüfungen zunächst an Teilbelägen, dann im Aggregat und schließlich im Fahrzeug erfolgen – jeweils ausgehend von den Systembelastungen. So kann die Beurteilung des Reibbelagmaterials schnell und ohne Nebeneinflüsse anderer Komponenten der Kupplung oder des Fahrzeugs erfolgen.

Ein Ergebnis dieses optimierten Entwicklungsprozesses sind Beläge mit verbessertem Berstverhalten nach thermischer Schädigung. Die Erfahrung zeigt, dass es nicht ausreicht, lediglich die Berstfestigkeit der neuen, thermisch noch unbelasteten

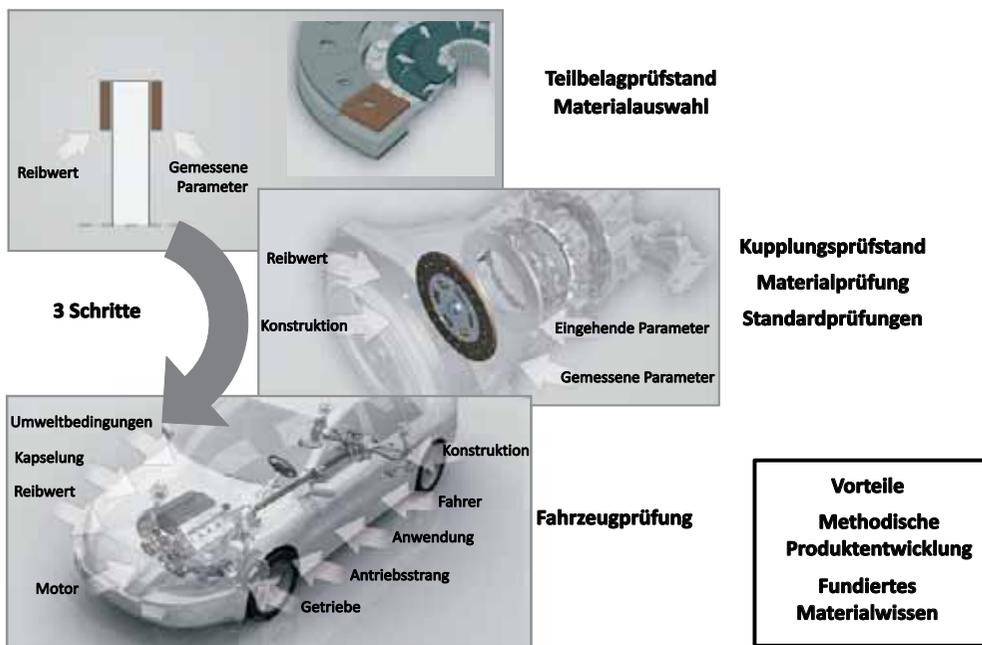


Bild 9 Entwicklungsprozess Teilbelag, Kupplung und Fahrzeug

Reibbeläge zu betrachten. Vielmehr muss auch die Berstfestigkeit der Komponenten nach länger anhaltender thermischer Belastung – auch unter Berücksichtigung eines thermischen Missbrauches – untersucht werden. Durch Einsatz hochwertiger Belagqualitäten und durch Optimierung der konstruktiven Verbindung von Belag und Trägerblech lassen sich deutliche Verbesserungen in der Berstfestigkeit erzielen.

Aus Prüfstandsbelastungen, gezielten thermischen Schädigungen unter Laborbedingungen und Berstuntersuchungen wurden Verfahren entwickelt, die die mechanische Festigkeit von Belägen nach thermischer Belastung vergleichend beschreiben und als Entwicklungswerkzeug für den Reibbelag- und Kupplungsentwickler dienen. Bild 10 zeigt die Ergebnisse unterschiedlicher Reibbelagmaterialien im Vergleich.

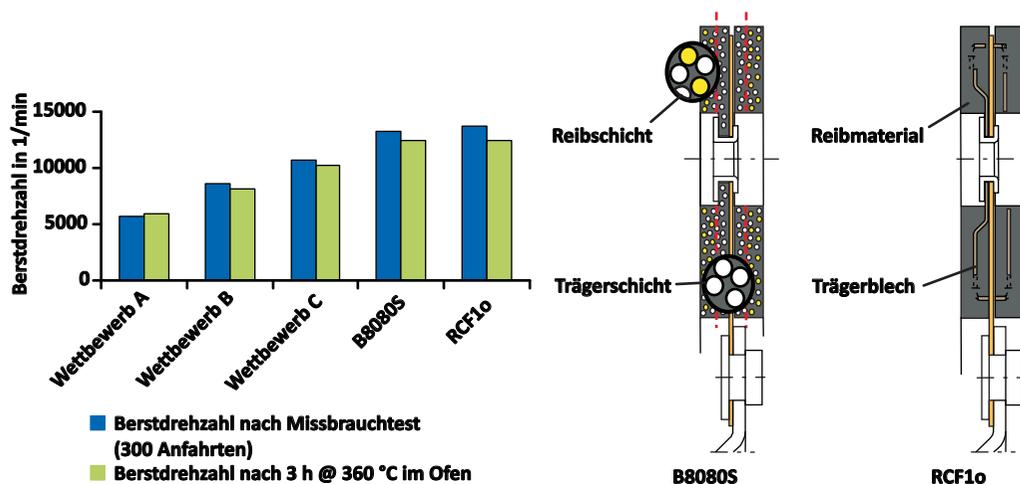


Bild 10 Vergleich Berstfestigkeit nach Missbrauch und thermischer Schädigung; Aufbau Belag und Kupplungsscheibe

### NVH

#### Neue Idee zu bekannten Problemen

Vibrations- oder Geräuschphänomene (NVH) sind meistens ein Problem des gesamten Antriebsstrangs, das heißt in der Mehrzahl der Fälle kann die Ursache nicht auf eine einzelne Komponente alleine zurückgeführt werden. Dies zeigt sich schon dadurch, dass zum Beispiel ein Kupplungsaggregat in einem Fahrzeug zu Problemen führt und in einem anderen nicht. Im Folgenden werden zwei neue Lösungsansätze beschrieben, die dazu beitragen die Auftretenswahrscheinlichkeit von Problemen zu reduzieren oder mögliche Störungen zu kompensieren.

#### Torsionstilger zur Reduzierung von Rupfschwingungen

Bei allen Antriebssträngen mit reibschlüssigen Übertragungselementen sind in der Schlupfphase dem mittleren Moment Wechselmomente überlagert, die zu Rupfschwingungen (Bild 11) führen können. Problematisch wird dies jedoch erst, wenn dadurch

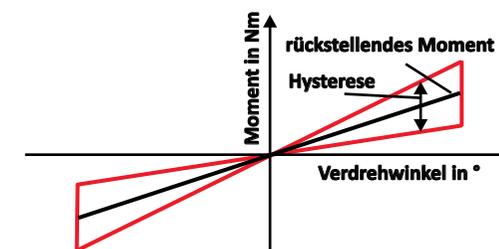
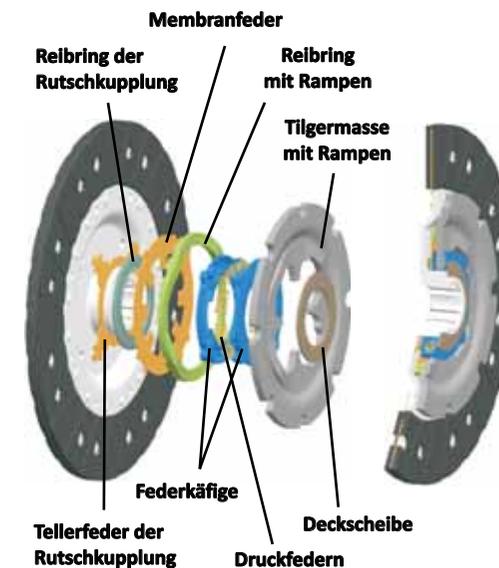


Bild 12 Torsionstilger (Rupftilger)

für den Fahrer Vibrationen spürbar werden. Wie stark sich eine vorhandene Anregung dabei auswirkt, hängt vom gesamten Antriebsstrang und Fahrzeug ab. Fahrzeuge mit hohen Sensitivitäten können dabei unter Umständen nur noch schwer mit dem Stand der Technik beherrscht werden.

Grundsätzlich bietet ein Tilger eine Möglichkeit, auftretende Rupfschwingungen um mehr als 50 % zu reduzieren. In der Vergangenheit wurden solche Konstruktionen bereits mehrfach von LuK untersucht. Der Tilger bestand dabei aus einer Masse, die über Federn und eine Reibeinrichtung parallel zur Kupplungsscheibe angeordnet war. Die Reibung musste auf eine definierte Rupfanregung abgestimmt werden.

Dies hatte zur Folge, dass im realen Betrieb die optimale Tilgerleistung nur selten erreicht wurde, da sowohl Anregung als auch Reibung große Streuungen aufweisen können. Ist beispielsweise die Reibung größer oder die Anregung kleiner als

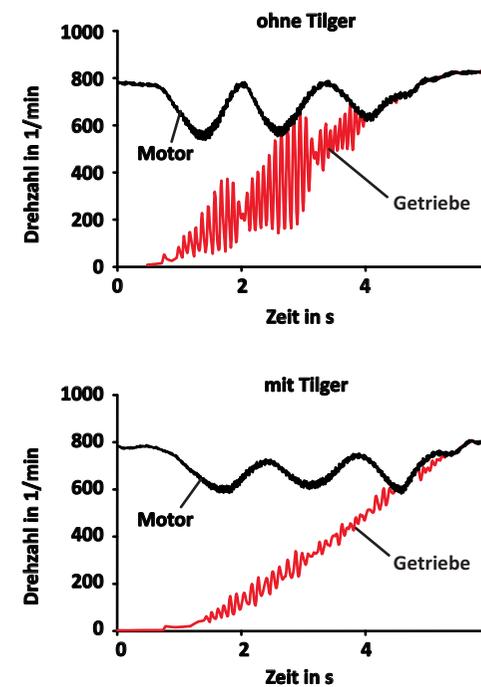


Bild 11 Anfahrt mit Rupfschwingungen

angenommen, neigt der Tilger zum Haften, im umgekehrten Fall ist die Bedämpfung für die bisherige, durch den Tilger verschobene und die neu entstandene Eigenfrequenz des Systems zu gering. Abhilfe böte ein Tilger mit geschwindigkeitsproportionaler Dämpfung. Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass der Aufwand für ein solches Modul zu groß wäre.

In einem neuen Ansatz wird die Reibung variabel gestaltet und zwar derart, dass sie mit zunehmendem relativem Verdrehwinkel und damit mit dem Anregungsmoment zunimmt. Das Verhältnis aus Reibung und Verdrehwinkel wird so festgelegt, dass sich für jede Anregungsamplitude immer die optimale Reibung einstellt. Die Reibungstoleranz ist damit nicht eliminiert, jedoch nimmt die Tilgerleistung nur noch bei Extremlagen spürbar ab.

Konstruktiv ist die Reibeinrichtung mit gegeneinander verdrehbaren Rampen versehen, die auf eine Membranfeder mit linearer Kennlinie wirken (Bild 12). So nehmen die Anpresskraft in der Reibeinrichtung und damit die Reibung exakt im erforderlichen Maße zu, wenn sich die Tilgermasse gegenüber der Kupplungsscheibe verdreht (Bild 13). Damit ist die Tilgerwirkung unabhängig vom Anregungsmoment.

Um übliche Anregungsmomente mit einem konstruktiv realisierbaren Schwingwinkel abdecken zu können, muss die Tilgermasse bei etwa 10 - 20 % der zu beteiligenden Masse liegen. Für den Fall, dass Auslenkungen dennoch größer sind als der maximale Schwingwinkel, ist die gesamte Tilgereinheit mit einer Rutschkupplung an der Kupplungsscheibe befestigt.

Ein genereller Vorteil des Torsionstilgers liegt darin, dass unabhängig vom Anregungsmechanismus Rupschwingungen reduziert werden, solange die Anregungsfrequenz nahe der Tilgerfrequenz liegt. So verhindert der Torsionstilger auch ein Aufklingen der Schwingungen bei reibwertinduzierter Anregung (Belagrupfen).

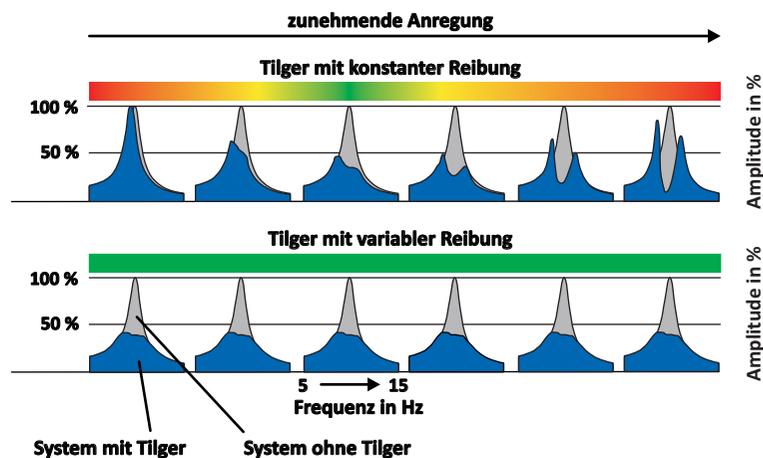


Bild 13 Wirkungsweise Tilger mit verdrehwinkelabhängiger Reibung

## Kupplungsscheibe mit Entkoppelungsfunktion

In der Schlupfphase der Kupplung können auch Geräuschprobleme auftreten. Ein bekanntes Phänomen ist das „Eek-Noise“, ein Pfeifton mit konstanter Frequenz im Bereich 300 - 500 Hz. Die Geräuschfrequenz korreliert dabei, vereinfacht betrachtet, mit der Biegeeigenfrequenz der Getriebeeingangswelle, die sich aus der Masse der Kupplungsscheibe und der Biegesteifigkeit der Getriebeeingangswelle ergibt. Theoretisch gibt es zwei Ansätze, um mit der Kupplungsscheibe das System zu stabilisieren, und so die Auftretenswahrscheinlichkeit entweder deutlich herabzusetzen oder nahezu vollständig auszuschließen.

Eine erste Möglichkeit ist, den Verstärkungsmechanismus abzuschwächen. Das heißt auftretende Störungen werden schwächer auf andere Elemente übertragen, so dass ein gegenseitiges Aufschaukeln abgeschwächt beziehungsweise ganz unterbunden wird. Dazu wird für die Kupplungsscheibe die Kippsteifigkeit zwischen Belagkranz und Nabe herabgesetzt. So werden Biegeschwingungen der Getriebeeingangswelle schwächer auf den Reibkontakt zwischen Anpressplatte und Reibbelag übertragen. Konstruktiv kann dies zum Beispiel durch eine Segmentfußkonstruktion mit reduzierter Steifigkeit realisiert werden (Bild 14).

Eine weitere Möglichkeit, mit der Kupplungsscheibe das System zu stabilisieren besteht darin, die Geräusch bestimmende Biegeeigenfrequenz der

Getriebeeingangswelle deutlich zu verstimmen. Dies kann unter anderem erreicht werden, indem die dominant an der Eigenform beteiligte Masse der Kupplungsscheibe deutlich reduziert wird. Konstruktiv bedeutet dies beispielsweise, dass die Belagmasse radial von der Nabe der Kupplungsscheibe abgekoppelt wird. Durch die nun geringere Masse auf der Getriebeeingangswelle erhöht sich die Biegeeigenfrequenz. Durch die Abkoppelung entsteht eine zweite Eigenfrequenz, die unterhalb der ursprünglich kritischen Frequenz liegt. Der Vorteil des so modifizierten Systems besteht darin, dass die beiden neuen Eigenformen im fahrbaren Bereich stabil sind, also bei Störungen nicht aufklingen.

Eine solche Konstruktion ist heute bei Versatzausgleichsscheiben bereits in Serie, allerdings ist dort eine radiale Verschiebung nur bei geringen Schlupfmomenten möglich. Für die Geräuschproblematik muss der relevante Momentenbereich abgedeckt werden, in dem das Problem auftreten kann. Beispielsweise muss bei einem aktuell untersuchten Fahrzeug die Abkoppelung bis ca. 60 Nm wirken.

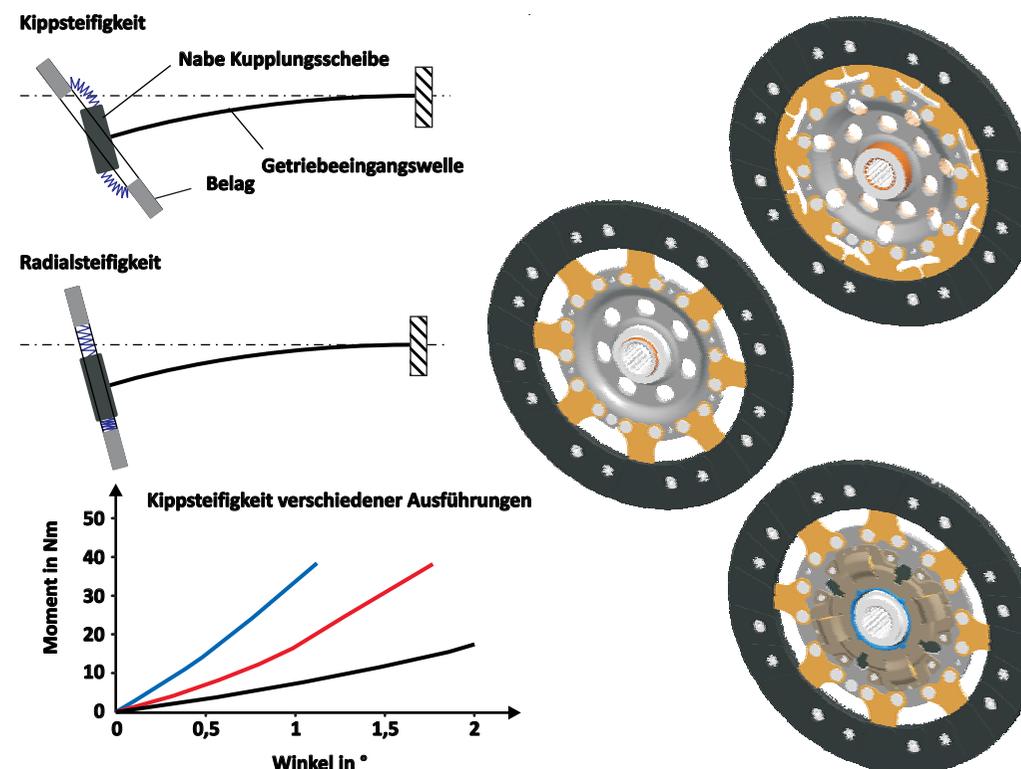


Bild 14 Kupplungsscheiben mit Entkoppelungsfunktion

## Optimierungen am Torsionsdämpfer in der Kupplungsscheibe

Neben dem ZMS als derzeit effektivstem System zur Reduzierung von Torsionsschwingungen werden auch weiterhin konventionelle Systeme mit starrem Schwungrad und torsionsgedämpfter Kupplungsscheibe zum Einsatz kommen.

Für PKW mit kleinerer Motorisierung und bei leichten NKW, bei denen die Anforderungen an die Schwingungsdämpfung im Triebstrang nicht so hoch sind wie z. B. in Mittelklasse-PKW, ist der Torsionsdämpfer in der Kupplungsscheibe der beste Kompromiss zwischen Bauraumbedarf, Funktion und Kosten.

Je nach Anwendung kann die Torsionskennlinie ein- bis fünfstufig ausgelegt werden. Grundsätzlich besitzen die LuK-Kupplungsscheiben eine möglichst flache Hauptdämpferkennlinie mit einer dauerfesten Reibeinrichtung für stabile Reibungs-

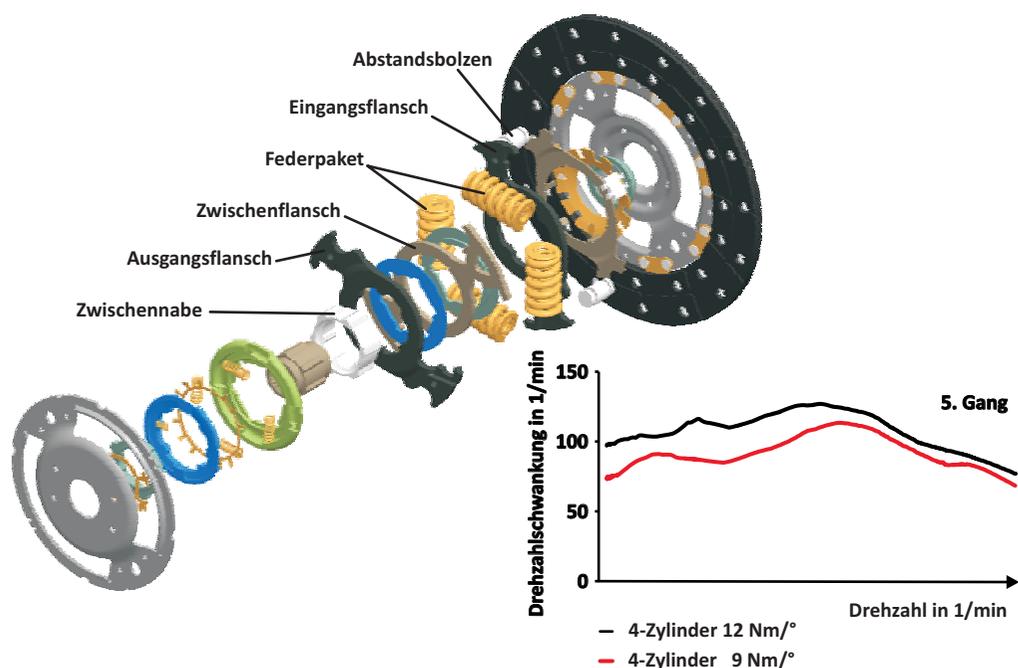


Bild 15 Reihenschaltung der Druckfedern im Dämpfer

dämpfung/Hysterese. Dies ist wichtig, denn eine merkliche Reduzierung der Dämpferhysterese über der Lebensdauer kann bei kritischen Anwendungen zu Ausfällen der Synchronringe im Getriebe führen.

Eine Maßnahme zur Reduzierung der Torsionssteifigkeit und damit der Drehungleichförmigkeit im Antriebsstrang, ist die Reihenschaltung der Druckfedern im Dämpfer. Diese bedingt eine Erhöhung des Druckfedergewichts und resultiert – falls keine entsprechenden Gegenmaßnahmen getroffen werden – in entsprechend höherem Verschleiß von Federn und Federführungen. Das bereits erwähnte, von LuK entwickelte neue Federführungssystem ermöglicht solche Reihenschaltungen auch für hohe Drehmomente und schwere Druckfederpakete.

Zusätzlich zu den beiden beschriebenen Flanschen wird noch ein Zwischenflansch eingesetzt. Der Eingangsflansch leitet die Kraft auf zwei gegenüberliegende Federpakete. Diese wirken über den Zwischenflansch auf die nächsten Federpakete, welche die Kraft auf den Ausgangsflansch übertragen (Bild 15). Die wechselseitige Ansteuerung von Eingangs- und Ausgangsflansch über Abstandsbolzen bzw. Zwischennabe ersetzt die Federübergabe.

Durch Reihenschaltung der Federn erreicht man eine um 25 % geringere Torsionssteifigkeit. Bei Einsatz mit einem 4-Zylinder Dieselmotor lassen sich die Drehzahlschwankungen an der Getriebeeingangswelle im Vergleich zu einem Standarddämpfer um 10 - 15 % reduzieren.

Der absehbare Ersatz von 4-Zylinder-Saugmotoren durch aufgeladene 3-Zylinder-Motoren ergibt neue Möglichkeiten für den Dämpfer in der Kupplungsscheibe. Der im Front-Quer-Antrieb mit 4-Zylinder-Motor relativ enge Axialbaupraum, der für die Kupplung zur Verfügung steht, könnte bei Wegfall eines Zylinders zum Teil für die Kupplung genutzt werden. Dann wären Kupplungsscheibendämpfer mit noch geringerer Hauptdämpfersteigung darstellbar.

Ein sogenannter Doppeldämpfer, der zwei Teildämpfer in Reihe schaltet, ermöglicht das Halbieren der Federsteifigkeit. Das Massenträgheitsmoment einer solchen Kupplungsscheibe (Bild 16) würde sich normalerweise um ca. 25 % erhöhen, könnte aber durch Maßnahmen am Belag, wie zum Beispiel dünnere Segmente, optimierte Nietbodendicke etc., zum Teil kompensiert werden.

Die Schwingungs-Simulation zeigt, dass die Drehungleichförmigkeit durch die geringere Federsteifigkeit eines Doppeldämpfers im relevanten Bereich um ca. 25 % reduziert werden kann. Somit wäre bei Einsatz eines aufgeladenen 3-Zylinder-Motors in Verbindung mit einem Doppeldämpfer ein ähnliches Schwingungsverhalten wie bei einem 4-Zylinder-Saugmotor und Standarddämpfer erreichbar.

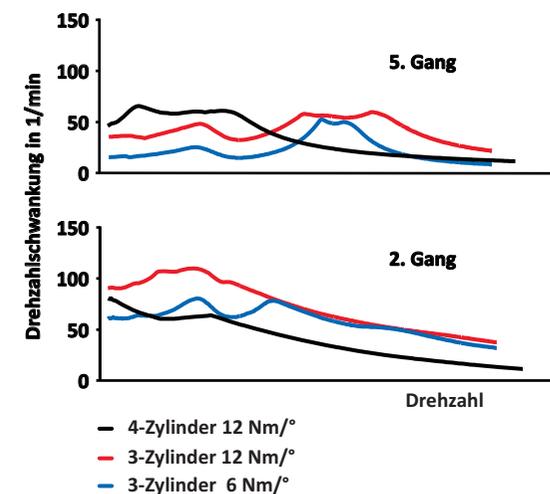


Bild 16 Doppeldämpfer

## Optimierungen in der Kupplung

Zur Reduzierung der Drehschwingungen im Antriebsstrang besteht auch die Möglichkeit ein Fliehkraftpendel, wie es schon beim Zweimasenschwungrad zur Anwendung kommt [9, 10, 11], in die Kupplungsdruckplatte (Bild 17) zu integrieren.

Dazu werden die Bereiche zwischen den Blattfedertaschen genutzt. Der große Wirkradius in Kombination mit großen Pendelmassen führt zu einer hohen Effektivität des Systems. Bei Anwendungen mit Längsmotor lässt sich das System normalerweise im vorhandenen Bauraum integrieren, für Front-Quer-Applikationen wird zusätzlicher Bauraum benötigt.



Bild 17 Fliehkraftpendel in der Kupplung

## Package

### SlimDisc-Belagsystem

Speziell bei Doppelkupplungsgetrieben steht aufgrund der thermisch relevanten Massen der Anpressplatten und der Zentralplatte, die den Wärmeeintrag zwischenspeichern, relativ wenig Bauraum für das System Reibbelag/Belagfederung der Kupplung zur Verfügung. Trotzdem müssen die für ein Automatikgetriebe typischen Anforderungen an Laufstrecken (Fahrzeugslebensdauer) von ca. 250 000 km erfüllt werden.

Zusätzlich erfahren die über längere Zeit geöffneten Teilkupplungen – im Vergleich zum Einsatz in manuellen Getrieben – dynamische Belastungen durch Schwingungen des offenen Teilgetriebes. Aus sicherheitstechnischen Gründen muss ein Berstschaaden an der Kupplungsscheibe praktisch ausgeschlossen sein.

Aus diesen Besonderheiten ergeben sich für das System Reibbelag/Belagfederung der Kupplungsscheiben neue spezifische Anforderungen:

- große, auf die Lebensdauer ausgelegte Verschleißreserve
- möglichst geringe gespannte Dicke
- hohe dynamische Verbindungsfestigkeit
- erhöhte Berstfestigkeit

Diese Anforderungen werden durch das von LuK entwickelte, sogenannte „SlimDisc-Belagsystem“ (Bild 18) erfüllt.

Bei diesem Belagkonzept wird der Reibbelag ohne Nietboden direkt auf einem Trägerblech befestigt (je nach eingesetzter Belagqualität aufgepresst oder aufgeklebt). Dieses Trägerblech steigert die Berstfestigkeit und überträgt das Moment direkt auf die Mitnehmerscheibe. Der Fußbereich zur Anbindung an die Mitnehmerscheibe ist axial elastisch ausgeführt, um die Axialbewegung der Federsegmente beim Betätigen der Kupplung nicht zu behindern. Federsegmente und Fangniete sind nicht mehr an der Momentenübertragung beteiligt und auch von den auftretenden dynamischen Umfangsbelastungen bei geöffneter Kupplung abgekoppelt.

Gegenüber einem Standard-Belagkonzept mit gleicher Verschleißreserve kann die Kupplungsscheibe mit dem SlimDisc-Belagsystem um 1,5 bis 2 mm dünner ausgeführt werden. Dieser Bauraumvorteil kann je nach Bedarf zur Vergrößerung der thermisch relevanten Massen genutzt werden oder zur

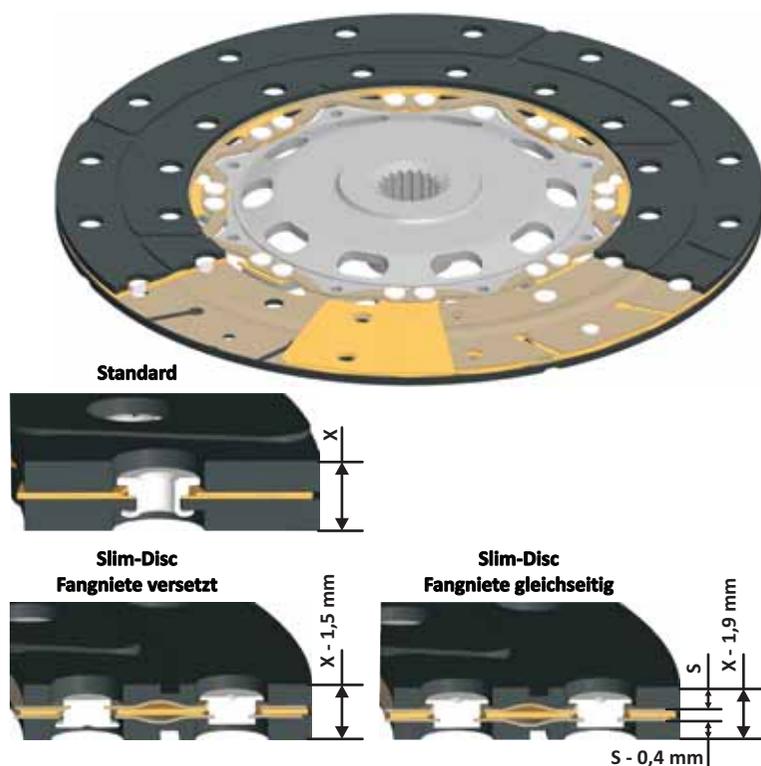


Bild 18 LuK SlimDisc-Belagsystem

Reduzierung des axialen Bauraums der Kupplung beitragen.

Mit diesem System, dessen Einsatzmöglichkeiten natürlich nicht nur auf Doppelkupplungen beschränkt sind, lassen sich bei Bedarf Berstdrehzahlen >13 000 1/min auch nach thermischer Schädigung realisieren.

## LuK FlexCompact

Für Anwendungen bis 150 Nm Motormoment, bei denen Gewichtsreduzierung und/oder Reduzierung des axialen Bauraums besonders im Fokus stehen, ergeben sich mit der von LuK entwickelten FlexCompact-Kupplung (Bild 19) neue Möglichkeiten.

Diese Leichtbaukupplung entstand aufgrund einer umfangreichen Funktionsanalyse. Der Kupplungsdeckel besteht nicht mehr aus einem tiefgezogenen Teil, sondern aus mehreren gleichartigen Komponenten, die nach dem Zusammenbau im Verbund eine sehr hohe axiale Steifigkeit aufweisen.

Die Funktion der bekannten Tellerfeder mit Zungen wurde geteilt in die eigentliche Tellerfeder ohne Zungen, die die Anpresskraft erzeugt, und einzelne Betätigungshebel als Ersatz für die Zungen, die über eine bolzenlose Befestigung am Deckel für den Abhub der Anpressplatte sorgen. Die steifen Betätigungshebel stellen einen sehr guten Wirkungsgrad sicher. Zusätzlich lässt sich die innere Übersetzung der Druckplatte variabel wählen, da keine direkte Koppelung zwischen den Betätigungshebeln und der TF-Kraft vorhanden ist. Besonders bei kleinen Motormomenten ist dies vorteilhaft, wenn sich bei einer normalen

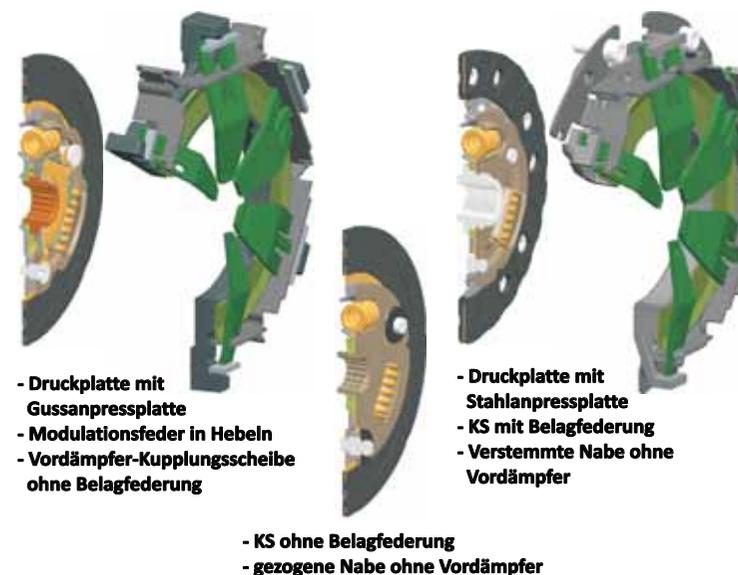


Bild 19 LuK FlexCompact

Tellerfederkupplung kleine Ausrückkräfte und damit zu geringe Pedalkräfte ergeben würden.

Die Anpressplatte kann standardmäßig als Gussanpressplatte oder bei entsprechend hoher Stückzahl als gezogene Stahlanpressplatte (Bild 20) ausgeführt werden.

### Guss - AP



### Stahl - AP



Bild 20 Guss-/Stahl-Anpressplatte

Elastisch stützen sich die Betätigungshebel über eine herausgestellte Lasche am Segmentdeckel ab. Die Abstimmung dieser Laschenkraft kann auf zwei verschiedenen Arten erfolgen. Bei der einen Auslegung wird die Laschenkraft immer höher wie die maximal auftretende Ausrückkraft gewählt. Die Modulation erfolgt bei diesem System über die Belagfeder. Im anderen Fall erfolgt die Auslegung der Lasche so, dass die für den Anfahrvorgang erforderliche Elastizität in die Be-

tätigungshebel (Modulationsfeder) integriert wird. Dadurch kann die Belagfeder der Kupplungsscheibe entfallen. Im direkten Vergleich ist die Wirkungsweise mit Belagfeder in Bild 21 dargestellt. Hier sorgt die Belagfeder bei entsprechender Betätigung für eine sofortige Bewegung der Anpressplatte. Endet die Wirkung dieser Feder, beginnt hier das Abheben der Anpressplatte.

Beim Entfall der Belagfeder kann eine Mitnehmerscheibe mit beidseitig aufgepresstem Belag eingesetzt werden. Dadurch reduziert sich die gespannte Dicke der Kupplungsscheibe um bis zu 3 mm, was zusätzlichen Bauraum bedeutet. Voraussetzung für den Entfall der Belagfeder in der Kupplungsscheibe sind eine schmale Anpressplatte und schmale Belagringe, um den thermischen Verzug gering zu halten. Außerdem sollte der Antriebsstrang möglichst rupfunkritisch sein. Masse und Massenträgheitsmoment der Kupplung können so je nach Ausführung um bis zu 35 % reduziert werden.

Durch die Beschränkung auf Anwendungen im unteren Drehmomentbereich und daraus folgend entsprechend begrenzte Kräfte und Massen der Druckfedern, kann beim Torsionsdämpfer auf den Flansch zur Federführung verzichtet werden. Die Federführung wird so gestaltet, dass die Kraftübertragung von der Mitnehmerscheibe über die schierend beanspruchten Druckfedern auf eine Gegenseibe erfolgt, die direkt mit der Nabe verstemmt ist.

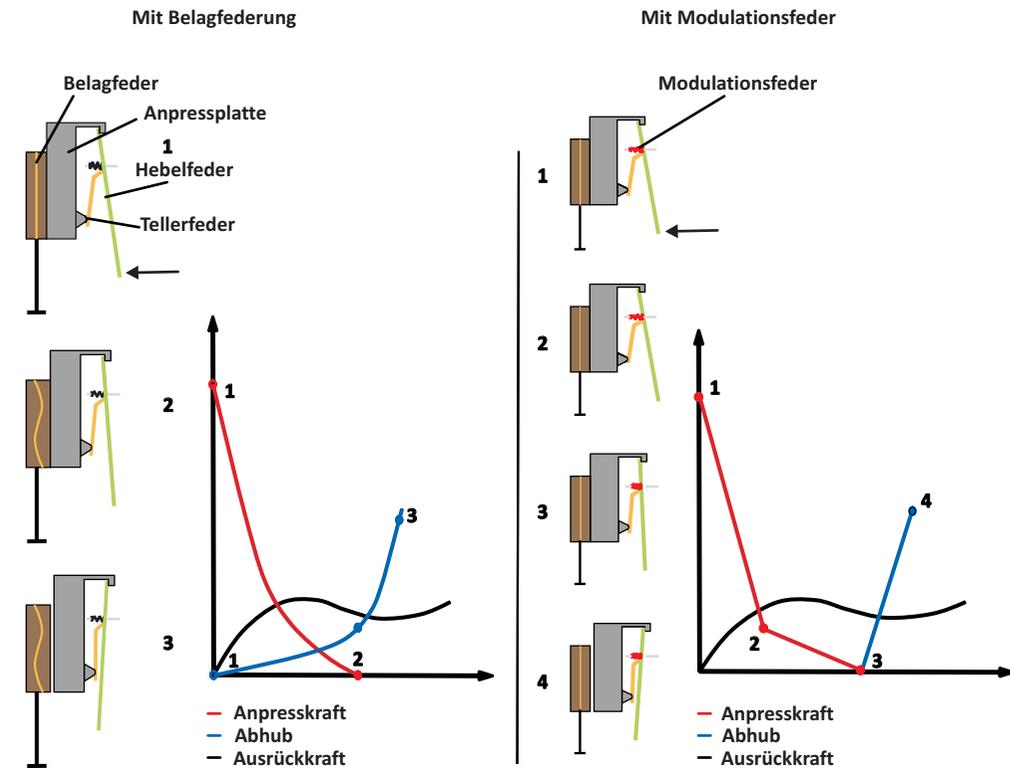


Bild 21 Funktionsweise Belagfederung/Modulationsfeder

Bei entsprechend hohen Produktionszahlen ist außerdem die Herstellung von Gegenscheibe und Nabe als einstückig gezogenes Teil wirtschaftlich darstellbar (Bild 22).

Geometrie- und kostenbedingt wird eine Dreierteilung statt der sonst üblichen Viererteilung der Federfensteranordnung eingesetzt.

Nach diesem Prinzip lässt sich auch eine Kupplungsscheibe mit Vordämpfer realisieren.

Durch Kombination der möglichen Varianten von Kupplungsdruckplatte und Kupplungsscheibe lässt sich die LuK FlexCompact-Kupplung entsprechend den jeweiligen Kundenspezifikationen gestalten.

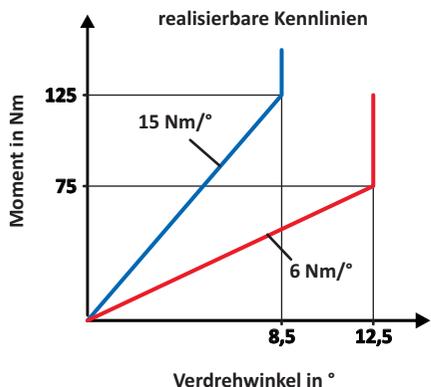


Bild 22 Kupplungsscheibe FlexCompact

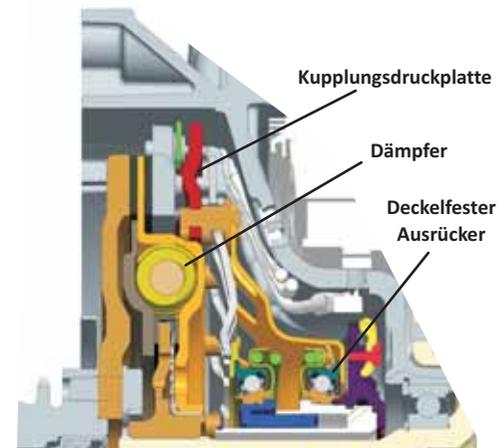


Bild 23 Kupplungssystem für Hybrid SUV

### Hybridanwendung

Speziell Hybridanwendungen setzen eine hohe Systemintegration voraus. Das gezeigte Beispiel (Bild 23) wurde für einen Parallel-Hybrid zum Stopp-Start des Verbrennungsmotors über die Trennkupplung entwickelt. Neben dem elektrischen Fahren sind Rekuperation und Boosten als Funktion möglich. Aufgrund des vorgegebenen Bauraums wurde für die Kupplung eine Ausführung mit außen auf dem Deckel angebrachter Tellerfeder gewählt. Die Kupplungsscheibe verfügt über einen Bogenfederdämpfer auf ZMS-Basis. Auf die Belagfederung kann durch die Anschleppfunktion des Motors über die E-Maschine (kurze Betätigungszeiten mit geringen Energieeinträgen) verzichtet werden. Durch Einsatz eines deckelfesten Ausrückers ist eine kompakte Bauweise in axialer Richtung möglich. Das Ausrücksystem stützt sich bei dieser Bauweise nicht am Getriebe ab. Dadurch ergeben sich eine reduzierte Kurbelwellenbelastung und ein Vorteil im Schwingverhalten des Gesamtsystems.

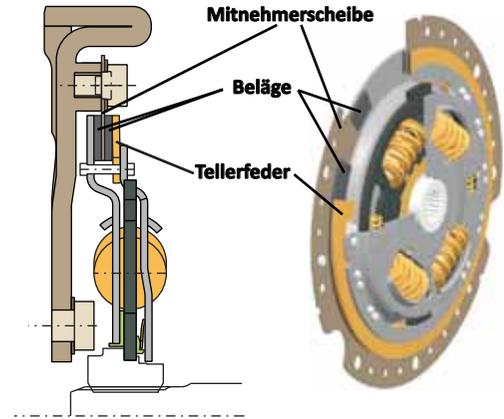


Bild 24 Dämpfer mit Kupplung zur sicheren Drehmomentbegrenzung

Die Palette der Dämpfer für Hybridanwendungen reicht vom Dämpfer mit Kupplung zur Momentenbegrenzung über Dämpfer mit verschleißfreier Federführung bis zum Bogenfederdämpfer auf ZMS-Basis.

Durch die in einem Hybridsystem wirkenden Massenträgheitsmomente kann es ohne geeignete Gegenmaßnahmen zu hohen Momentenspitzen kommen, die schnell zur Zerstörung des eingesetzten Dämpfers führen würden. Deshalb wird bei einigen Anwendungen eine Kupplung zur Momentenbegrenzung vor den Dämpfer geschaltet.

Das von LuK vorgesehene Konzept für die Kupplung (Bild 24) ermöglicht, im Gegensatz zu anderen Lösungen, beim Kunden eine einfache Montage des Dämpfers an das Schwungrad.

Für ein weiteres Hybridsystem liefert LuK das Schwungrad, die gedämpfte Kupplungsscheibe mit optimierter Federführung sowie Teile des

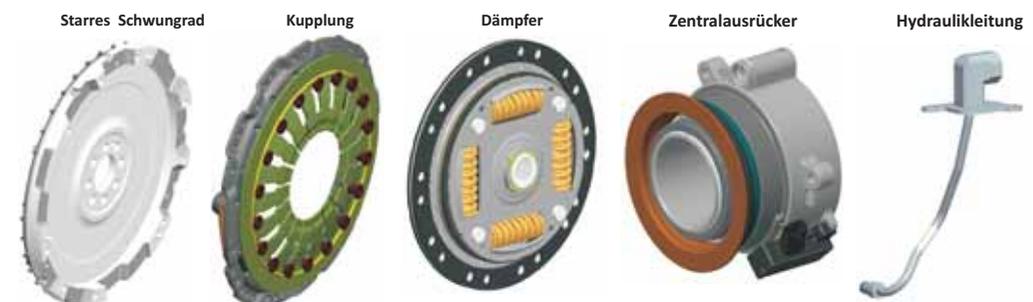


Bild 25 Komponenten Hybridsystem

Ausrücksystems mit Hydraulikleitung (Bild 25). Die gezeigten Beispiele sind in der Anwendung ähnlich, führen aufgrund von Kundenanforderungen jedoch zu unterschiedlichen Konstruktionen.

## Zusammenfassung

Die aufgeführten Konzepte zeigen, dass das System Kupplung noch immer Verbesserungspotenzial, sowohl bezogen auf Leistung als auch auf Wirtschaftlichkeit, bietet. In Kombination mit zukunftsweisenden Technologien, insbesondere bei der Entwicklung neuer Brennverfahren und Hybridstrukturen, entstehen neue Herausforderungen denen LuK sich stellt. Fest steht schon heute, dass die Vielfalt der dabei eingesetzten Lösungen weiter zunehmen wird. In Abhängigkeit der jeweiligen Kundenanforderung wird das technisch und wirtschaftlich geeignete Konzept gewählt und zum Nutzen des Kunden optimiert.

## Literatur

- [1] Mikulic, L.: Welche Zukunft haben herkömmliche Verbrennungsmotoren?, Videokommentar auf <http://www.handelsblatt.com>, 16.09.2009
- [2] Ostmann, B.: E-Motion, auto motor und sport, Ausgabe 21/2009, 63. Jahrgang, S. 3
- [3] Alternative Antriebe – Konzept-Überblick, <http://www.auto-motor-und-sport.de/eco/alternative-antriebe-konzept-ueberblick-938005.html>, 21.11.2009
- [4] Mit Oktan in die Zukunft, <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,661630,00.html>, 17.11.2009
- [5] Autohersteller verliert Glauben an den Wasserstoffantrieb, <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/autohersteller-bmw-verliert-glauben-an-den-wasserstoffantrieb;2495118>, 07.12.2009
- [6] Reik, W.: Die Selbsteinstellende Kupplung, 5. LuK Kolloquium, 1994, S.43-63
- [7] Reik, W.; Kimmig K.; Elison H.-D.; Meinhard R.; Raber, C.: Neue Chancen für die Kupplung?, 7. LuK Kolloquium, 2002, S. 191-202
- [8] Zink, M.; Hausner, M.; Welter, R.; Shead, R.: Kupplung und Ausrücksystem – So macht das Kuppeln Spaß!, 8. LuK Kolloquium, 2006, S. 27-45
- [9] Fidlin, A.; Seebacher, R.: Simulationstechnik am Beispiel des ZMS – die Stecknadel im Heuhaufen finden, 8. LuK Kolloquium, 2006, S. 55-71
- [10] Zink, M.; Hausner, M.: Das Fliehkraftpendel – Anwendung, Leistung und Grenzen drehzahladaptiver Tilger, ATZ, Ausgabe 07-08/2009, S. 546-553
- [11] Kroll, J.; Kooy, A.; Seebacher, R.: Land in Sicht? – Torsionsschwingungsdämpfung für zukünftige Motoren, 9. Schaeffler Kolloquium, 2010, S. 28-39